

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Теплоэнергетика и теплотехника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕПЛОМАССООБМЕН**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Обязательная</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.О.21</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>4 семестр - 5; 5 семестр - 5; всего - 10</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>360 часов</b>
<b>Лекции</b>	<b>4 семестр - 32 часа; 5 семестр - 32 часа; всего - 64 часа</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>4 семестр - 32 часа; 5 семестр - 32 часа; всего - 64 часа</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>4 семестр - 16 часов; 5 семестр - 16 часов; всего - 32 часа</b>
<b>Консультации</b>	<b>4 семестр - 2 часа; 5 семестр - 2 часа; всего - 4 часа</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>4 семестр - 97,5 часа; 5 семестр - 97,5 часа; всего - 195,0 часа</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Лабораторная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>4 семестр - 0,5 часа;</b>
<b>Экзамен</b>	<b>5 семестр - 0,5 часа;</b>
	<b>всего - 1,0 час</b>

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Шевченко И.В.
	Идентификатор	R0722806b-ShevchenkoIv-73cb47

И.В. Шевченко

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	<b>Сведения о владельце ЦЭП МЭИ</b>	
	Владелец	Рогалев А.Н.
	Идентификатор	Rb956ba44-RogalevAN-6233a28b

А.Н. Рогалев

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение закономерностей переноса теплоты для процессов теплопроводности, конвекции, теплового излучения, теплообмена при фазовых переходах и массообмена

### Задачи дисциплины

- изучение методов исследования процессов теплообмена;
- получение информации о методах расчета количественных характеристик процессов теплообмена для основных видов переноса теплоты (теплопроводность, конвекция, излучение), а также при наличии фазовых переходов и массообмена;
- приобретение навыков применения этих методов для решения различных прикладных задач, возникающих в инженерной практике.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-4 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов теплообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах;</li><li>- способы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением;</li><li>- способы расчета температурного поля при теплопроводности в твердых телах и передаваемого теплового потока;</li><li>- основные механизмы переноса теплоты и их особенности в различных системах.</li></ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- вычислять коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости;</li><li>- участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов;</li><li>- вычислять коэффициент теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции;</li><li>- вычислять коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на различных поверхностях.</li></ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплоэнергетика и теплотехника (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 10 зачетных единиц, 360 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Основы теории теплообмена	144	4	32	16	32	-	-	-	-	-	64	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основы теории теплообмена"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы теории теплообмена"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 319-512 [2], 33-256 [3], 56-78 [4], 99-191 [5], 158-498</p>	
1.1	Введение.	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
1.2	Теплопроводность	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
1.3	Конвективный теплообмен	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
1.4	Теплообмен излучением	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>64</b>	<b>33.5</b>		
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>	<b>32</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>2</b>				<b>0.5</b>	<b>97.5</b>				
2	Основы переноса тепла и массы	144	5	32	16	32	-	-	-	-	-	64	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы переноса тепла и массы"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Основы переноса тепла и массы"</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p>	
2.1	Массообмен	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
2.2	Теплообмен при конденсации	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
2.3	Теплообмен при кипении	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		
2.4	Изучение теплоотдачи при кипении	36		8	4	8	-	-	-	-	-	16	-		

													<i><b>Изучение материалов литературных источников:</b></i> [1], 25-318 [2], 33-256 [3], 3-55 [4], 5-98 [5], 13-157
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5
	Всего за семестр	180.0		32	16	32	-	2	-	-	0.5	64	33.5
	Итого за семестр	180.0		32	16	32		2	-		0.5		97.5
	<b>ИТОГО</b>	<b>360.0</b>	-	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>64</b>		<b>4</b>	-		<b>1.0</b>		<b>195.0</b>

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Основы теории теплообмена

#### 1.1. Введение.

Основные способы переноса теплоты..

#### 1.2. Теплопроводность

Основные положения теории теплопроводности. Температурное поле, изотермические поверхности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Теплопроводность различных веществ. Условия однозначности.. Стационарная теплопроводность одно- и многослойной стенок простейшей геометрии. Интенсификация теплопередачи. Эффективность оребрения. Теплопроводность ребер. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты.. Нестационарная теплопроводность. Нестационарный перенос тепла теплопроводностью в полубесконечном теле. Особенности многомерных задач теплопроводности..

#### 1.3. Конвективный теплообмен

Основные понятия и определения. Классификация процессов. Дифференциальное уравнение энергии. Система уравнений конвективного теплообмена. Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании тел. Особенности конвективного теплообмена при течении в каналах. Теплообмен при естественной конвекции около вертикальной пластины и горизонтальной трубы при ламинарном и турбулентном пограничном слое..

#### 1.4. Теплообмен излучением

Основные понятия. Законы излучения черного тела. Особенности реальных поверхностей. Лучистый теплообмен в диатермической среде. Общий метод расчета для серых поверхностей и диффузного излучения..

### 2. Основы переноса тепла и массы

#### 2.1. Массообмен

Совместные процессы тепло- и массообмена. Характеристики переноса массы и энергии в бинарной системе. Диффузия, закон Фика. Система дифференциальных уравнений для тепло- и массообмена. Аналогия процессов тепло- и массообмена при низкой интенсивности массообмена. Тройная аналогия. Особенности тепло- и массообмена при значительном поперечном потоке массы..

#### 2.2. Теплообмен при конденсации

Классификация процессов, возможные режимы конденсации пара. Система уравнений для движения жидкости со свободной поверхностью при фазовом переходе I рода. Решение Нуссельта для пленочной конденсации на вертикальной стенке и его последующие уточнения. Конденсация на горизонтальной трубе. Числа подобия. Турбулентное течение конденсированной пленки. Особенности пленочной конденсации внутри труб. Механизм и теплообмен при капельной конденсации..

#### 2.3. Теплообмен при кипении

Классификация процессов. Модели элементарных процессов. Режимы кипения в большом объеме. Теплоотдача в различных режимах, кризисы кипения. Теоретические модели теплообмена при кипении в большом объеме. Устойчивость процесса с точки зрения

теплового баланса греющей стенки. Кипение при вынужденном течении жидкости. Теплообмен при движении фронта фазового перехода..

#### 2.4. Изучение теплоотдачи при кипении

Определение теплоемкости и температуропроводности твердых материалов методом регулярного режима. Опытное изучение теплоотдачи при свободной и вынужденной конвекции воздуха около тел различной геометрии. Изучение теплоотдачи при кипении азота в большом объеме..

### 3.3. Темы практических занятий

1. Теплообмен при кипении движущейся в канале жидкости;
2. Кризисы кипения, теплообмен при пленочном кипении в большом объеме;
3. Пленочная конденсация движущегося пара;
4. Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме;
5. Стационарные задачи теплопроводности при наличии внутренних источников тепла (6 часов).;
6. Конвективный теплообмен при турбулентном течении в каналах;
7. Конвективный теплообмен при ламинарном течении в каналах;
8. Конвективный теплообмен при внешнем обтекании тел;
9. Нестационарные задачи теплопроводности;
10. Теплообмен излучением;
11. Теплообмен при естественной конвекции около тел различной формы;
12. Стационарные задачи теплопроводности без внутренних источников тепла.

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции;
2. Изучение теплоотдачи при кипении;
3. Теплоемкости и температуропроводность.

### 3.5 Консультации

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы теории теплообмена"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы переноса тепла и массы"

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основы переноса тепла и массы"

### 3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены



### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)		Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	
<b>Знать:</b>				
основные механизмы переноса теплоты и их особенности в различных системах	ИД-3ОПК-4	+		Контрольная работа/Классификация процессов теплообмена
способы расчета температурного поля при теплопроводности в твердых телах и передаваемого теплового потока	ИД-3ОПК-4	+		Контрольная работа/Теплопроводность
способы расчета теплового потока между телами различной формы при теплообмене излучением	ИД-3ОПК-4	+		Контрольная работа/Теплообмен излучением
особенности процессов переноса тепла и массы в многокомпонентных системах	ИД-3ОПК-4		+	Контрольная работа/Массообмен
<b>Уметь:</b>				
вычислять коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации на различных поверхностях	ИД-3ОПК-4		+	Контрольная работа/Теплообмен при конденсации
вычислять коэффициент теплоотдачи при вынужденной и естественной конвекции	ИД-3ОПК-4	+		Контрольная работа/Конвективный теплообмен
участвовать в экспериментальных исследованиях процессов теплообмена и обработке результатов экспериментов	ИД-3ОПК-4		+	Контрольная работа/Свободная и вынужденная конвекция Контрольная работа/Теплоемкость Контрольная работа/Теплообмен при кипении Лабораторная работа/Теплоотдачи при кипении
вычислять коэффициент теплоотдачи при кипении в большом объеме и при движении кипящей жидкости	ИД-3ОПК-4		+	Лабораторная работа/Теплоотдачи при кипении

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

###### **4 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Классификация процессов теплообмена (Контрольная работа)
2. Конвективный теплообмен (Контрольная работа)
3. Теплообмен излучением (Контрольная работа)
4. Теплопроводность (Контрольная работа)

###### **5 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Массообмен (Контрольная работа)
2. Свободная и вынужденная конвекция (Контрольная работа)
3. Теплоемкость (Контрольная работа)
4. Теплообмен при кипении (Контрольная работа)
5. Теплообмен при конденсации (Контрольная работа)
6. Теплоотдачи при кипении (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №4)

Экзамен (Семестр №5)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании зачетной и экзаменационной составляющих

В диплом выставляется оценка за 5 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : учебное пособие для вузов по энергетическим специальностям / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 550 с. - ISBN 5-7046-1270-9 .;
2. Ягов, В. В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. В. Ягов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2014 . – 542 с. - ISBN 978-5-383-00854-6 .;
3. Ястребов, А. К. Некоторые задачи теплообмена в однофазных и двухфазных системах : учебное пособие по курсу "Тепло- и массообмен" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. К. Ястребов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 80 с. - ISBN 978-5-7046-1564-4 .

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=7266>;

4. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко . – 2-е изд., испр. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 196 с. - ISBN 978-5-383-00259-9 .;
5. Григорьев Б.А.- "Тепломассообмен", Издательство: "МЭИ", Москва, 2011 - (562 с.)  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383005637.html>.

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
8. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
9. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Г-405, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Г-405, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	В-209/10, Учебная лаборатория тепломассообмена	рабочее место сотрудника, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, компьютер персональный, принтер, инвентарь учебный, стенд информационный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-405, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для	В-209/2, Кабинет	кресло рабочее, рабочее место сотрудника,

консультирования	сотрудников каф. "ТОТ"	стол, стул, шкаф для документов, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ****Тепломассообмен**

(название дисциплины)

**4 семестр****Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1 Классификация процессов теплообмена (Контрольная работа)

КМ-2 Теплопроводность (Контрольная работа)

КМ-3 Конвективный теплообмен (Контрольная работа)

КМ-4 Теплообмен излучением (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Основы теории теплообмена					
1.1	Введение.		+			
1.2	Теплопроводность			+		
1.3	Конвективный теплообмен				+	
1.4	Теплообмен излучением					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

**5 семестр****Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-5 Массообмен (Контрольная работа)

КМ-6 Теплообмен при конденсации (Контрольная работа)

КМ-7 Теплообмен при кипении (Контрольная работа)

КМ-8 Теплоемкость (Контрольная работа)

КМ-9 Свободная и вынужденная конвекция (Контрольная работа)

КМ-10 Теплоотдачи при кипении (Лабораторная работа)

10

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10
		Неделя КМ:	4	8	10	12	14	14
1	Основы переноса тепла и массы							

1.1	Массообмен	+					
1.2	Теплообмен при конденсации		+				
1.3	Теплообмен при кипении						+
1.4	Изучение теплоотдачи при кипении			+	+	+	+
Вес КМ, %:		10	10	20	20	20	20